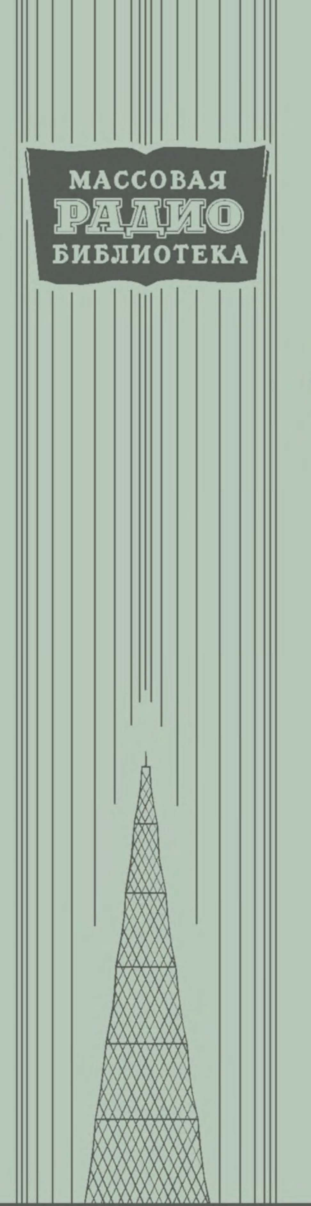


П. О. ЧЕЧИК

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ РАДИОАППАРАТУРЫ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1956

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 257

П. О. ЧЕЧИК

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ РАДИОАППАРАТУРЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1956 ЛЕНИНГРАД

В брошюре кратко описаны устройство, принцип действия и некоторые характеристики разработанных в последнее время в различных странах новых источников электрической энергии (аккумуляторов, атомных элементов и батарей, солнечных батарей, термоэлектрогенераторов, электретов и др.) и приведены примеры применения их для питания переносной и передвижной радиоаппаратуры.

Брошюра рассчитана на подготовленного читателя.

Автор — *Чечик Петр Оскарович*

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ РАДИОАППАРАТУРЫ

Редактор *Ф. И. Тарасов*. Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 6/VII 1956 г. Подп. к печати 30/X 1956 г. Т- 10538.
Бумага 84×108 1/32 2 печ. л. Уч.-изд. л 2,3.
Тираж 50 000 экз. Цена 90 коп. Заказ 1408

Отпечатано с готового набора типографии Госэнергоиздата в 1-й типографии Профиздата. Москва, Крутицкий вал, 18. Зак. 1376.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема создания экономичных, надежных и простых в эксплуатации источников электрической энергии для питания радиоаппаратуры, особенно переносной и передвижной, с особой остротой возникла вновь в связи с появлением полупроводниковых приборов. Эти приборы работают при относительно малых напряжениях, потребляют меньшую мощность, чем лампы, имеют значительно меньшие размеры и вес, и обладают бо́льшим по сравнению с лампами сроком службы.

Для конструирования аппаратуры на полупроводниковых приборах созданы малогабаритные радиодетали (конденсаторы, сопротивления, катушки, трансформаторы). В сочетании с новой технологией монтажа схем появилась возможность построения малогабаритной аппаратуры (от приборов для тугоухих до карманных приемо-передающих станций). Для таких устройств в первую очередь разработан ряд новых источников электрической энергии: маломощные, малогабаритные аккумуляторы герметизированного типа, которые могут работать в горизонтальном и вертикальном положениях и которые можно замонтировать в схему так же, как сопротивление или конденсатор, солнечная батарея и др.

Для районов, не обеспеченных электроэнергией, в условиях экспедиций, для аварийных служб большой интерес представляют термоэлектрические полупроводниковые генераторы.

Для некоторых схем интересны разработки электретов материалов, обладающих постоянной электризацией и способных длительное время создавать постоянное электрическое поле, аналогично тому как создается магнитное поле постоянным магнитом.

Не меньший интерес представляют атомные элементы и батареи — устройства, способные в течение весьма длительного срока служить источником высокого и низкого напряжений под действием радиоактивного распада.

Более широкое значение имеют работы по изысканию методов прямого преобразования солнечной энергии или энергии топлива (нефти, угля, природного газа) в электрическую. Наряду с атомной энергией такие источники призваны увеличить общие запасы энергии на Земле и улучшить использование их.

В этой брошюре, рассчитанной на подготовленного читателя, кратко описано современное состояние разработок перечисленных выше новых источников питания.

1. ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫЕ НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Среди различных источников постоянного тока, применяемых для питания радиоаппаратуры, аккумуляторы занимают почетное место, являясь надежно действующими приборами с большим сроком службы. В условиях нормальной эксплуатации аккумуляторы нередко служат $15 \div 20$ лет. Коэффициент полезного действия аккумуляторных установок высок.

В переносной радиоаппаратуре предпочтение обычно отдается железно-никелевым (щелочным) аккумуляторам, так как они значительно прочнее свинцовых (кислотных) и обладают значительно бо́льшим сроком службы, нежели последние.

Известны щелочные аккумуляторы двух основных видов: железо-никелевые и никель-кадмиевые. Вне зависимости от многочисленных конструктивных форм они имеют общие достоинства, отличающие их от кислотных. К этим достоинствам относятся: большая механическая прочность, высокая стабильность, малый (в сравнении с кислотными) вес, низкие требования к уходу за ними.

Кроме того, следует отметить, что никель-кадмиевые аккумуляторы позволяют производить зарядку очень малым током. Они обладают также незначительными саморазрядом и образованием газов.

Последнее обстоятельство особенно ценно при попытке создать газо- и водонепроницаемые (герметизированные) аккумуляторы, у которых образующиеся в процессе заряда и разряда газы (в небольших относительно количествах) поглощаются в самом электролите.

Для использования в современной переносной радиоаппаратуре аккумуляторы при всех их достоинствах обладали рядом существенных недостатков: они громоздки, тяжелы, зарядка их должна производиться в специально приспособленных помещениях.

Разработанные в последние годы новые никель-кадмиевые герметизированные аккумуляторы в большой степени устраняют эти недостатки. Они выпускаются некоторыми фирмами за границей в широком ассортименте емкостей (10 *мач* ÷ 60 *ач*). Благодаря герметичной конструкции их можно жестко (в любом положении) монтировать в схему радиоустройства (как конденсатор или сопротивление).

Для зарядки этих аккумуляторов не нужно вынимать их из радиоаппарата; они не требуют, как обычные щелочные аккумуляторы, периодической доливки воды и электролита. Они нечувствительны к вибрации и сотрясениям, могут работать в широком интервале температур. Срок службы их в 5 ÷ 10 раз больше, чем у обычных аккумуляторов.

Никель-кадмиевый аккумулятор имеет пористые пластины, покрытые никелем и кадмием. Электролитом служит водная окись калия. Аккумулятор дает нормально 1,25 *в*. Внешний вид нескольких типов малоемкостных герметизированных аккумуляторов, предназначенных для использования в переносной радиоаппаратуре, приведен на фиг. 1.

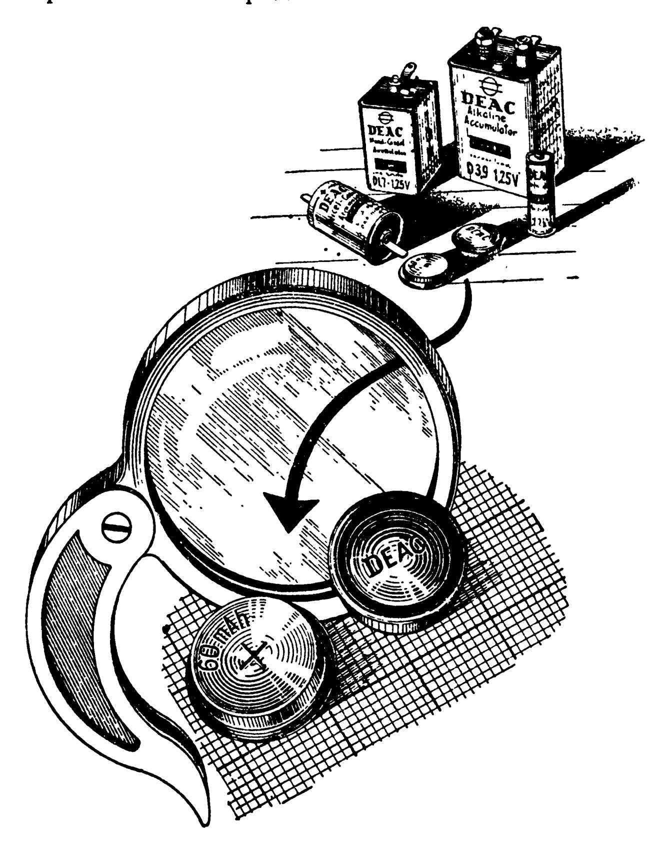
Эти аккумуляторы обладают высокой эквивалентной емкостью (около 100 000 *мкф* для аккумулятора типа Д1,7) и поэтому являются хорошим сглаживающим фильтром в цепи накала.

На фиг. 2 приведены разрядные характеристики для одного из типов этих аккумуляторов емкостью 1,7 *ач* (Д1,7, на фиг. 1 — левый, прямоугольный). Как видно из фиг. 2, длительные периоды отдыха значительно удлиняют межзарядное время.

Никель-кадмиевые аккумуляторы допускают параллельную работу с гальваническими элементами подходящего напряжения и емкости. При такой параллельной работе свежих элементов с почти истощенным аккумулятором в момент подключения элементов начинается подзаряд аккумулятора и первоначально относительно высокое напряжение гальванического элемента падает до 1,1 *в*. Когда напряжение элемента станет ниже напряжения аккумулятора, начинается процесс заряда элемента.

Заряд этих аккумуляторов при наличии сетей переменного или постоянного напряжения производится от этих сетей через соответствующее зарядное устройство. В радиоаппаратуре предусматриваются переключатель и специальные зажимы, поскольку аккумулятор жестко замонтирован в схему аппарата.

Можно заряжать эти аккумуляторы и от стартерного автомобильного аккумулятора на 6 или 12 *в* через добавочное сопротивление. Зарядный ток — около 300 *ма*.



Фиг. 1. Внешний вид нескольких типов никель-кадмиевых герметизированных аккумуляторов.

Описанные аккумуляторы нашли уже применение в качестве источников питания цепей накала переносных радиовещательных приемников (передвижек) и измерительной аппаратуры, а самые маленькие, получившие название «пуговок» (емкостью 60 *мач* и размерами с монету в 10 коп.) — в аппаратах для тугоухих. Такая «пуговка» обеспечивает непрерывную работу аппарата в течение 16 час., а зарядка длится 10 час. и, следовательно, может быть выполнена ночью, когда аппаратом не пользуются.



а)

б)

Фиг. 2. Разрядные характеристики аккумулятора Д1,7.

а—при 1,5-часовом разряде и 1-часовом отдыхе; *б*—при 4-часовом разряде и 20-часовом отдыхе. Кривые: *1*—при сопротивлении нагрузки 4 *ом* и токе 0,31 *а*; *2*—при 7 *ом* и 0,175 *а*; *3* — при 10 *ом* и 0,125 *а*.

Особое значение такие маленькие аккумуляторы получат в устройствах, использующих полупроводниковые приборы.

2. СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Новые серебряно-цинковые аккумуляторы обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с общеизвестными типами свинцовых и даже железо-никелевых аккумуляторов. Они имеют меньший вес при сравнительно небольших размерах и бóльшую, чем у свинцовых аккумуляторов, удельную емкость (емкость, отнесенная к единице веса одной банки аккумулятора). Эти достоинства делают их привлекательными для применения в переносной и передвижной радиоаппаратуре.

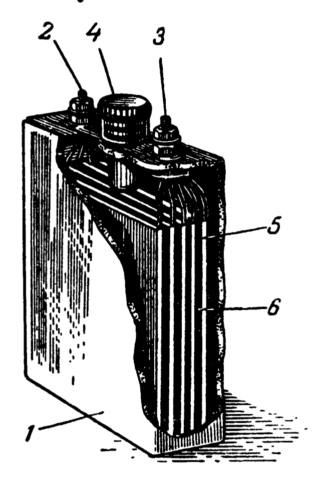
Одним из самых важных достоинств аккумуляторов этого вида является то, что при небольших размерах они позволяют получать (кратковременно) весьма значительные токи. Объясняется это тем, что при толщине пластин 0,1 ÷ 0,15 *мм* допустимая для них плотность тока составляет около 0,5 *а/см²*. Например, аккумулятор емкостью всего 0,5 *ач* может отдавать в импульсе ток до 600 *а*. Один из образцов таких аккумуляторов весом 4,5 *кг* имел емкость 300 *ач* и допускал разрядный ток в импульсе 1 500 *а*. Таким образом, эти аккумуляторы следует признать особо пригодными для питания устройств, работающих в импульсном режиме.

Большим достоинством новых аккумуляторов является также малый ток саморазряда. Количество запасенной энергии при длительном хранении аккумулятора в заряженном состоянии изменяется мало. Например, количество энергии аккумулятора емкостью 10 *ач* при хранении в заряженном состоянии в течение полугода уменьшается всего на 20%. Для сравнения интересно отметить, что обычный щелочный аккумулятор при тех же условиях хранения уменьшает запасенную им энергию на 20 ÷ 30% за 25 суток, а кислотный — на 25 ÷ 40% за тот же срок.

Серебряно-цинковые аккумуляторы хорошо работают при изменениях внешней температуры в пределах от —20 до +60° С и могут еще удовлетворительно работать при температурах вплоть до —59° С (температура замерзания электролита) и +80° С. Работа их не нарушается и при значительных изменениях атмосферного давления, что важно, например, при питании самолетной радиоаппаратуры.

Устройство (схематическое) аккумулятора видно из фиг. 3. В пластмассовой коробке размещены, чередуясь,

положительные и отрицательные пластины (электроды). Положительные пластины изготовлены из чистого серебра, отрицательные — из окиси свинца, причем каждая из них помещена в пакет из особым образом приготовленного целлулоидного вещества, хорошо пропускающего электролит, но препятствующего проникновению металлических частиц. Все положительные пластины соединены между собой и с выводным зажимом хорошо проводящими шинками. Такими же шинками соединены между собой отрицательные пластины и второй выводной зажим.



Фиг. 3. Устройство серебряно-цинкового аккумулятора.

1 — коробка из пластмассы; *2* и *3* — выводные зажимы; *4* — водонепроницаемая пробка; *5* — отрицательный электрод; *6* — положительный электрод.

Электролитом служит раствор едкого кали. Свободное количество электролита, необходимое для работы аккумулятора, очень невелико, поэтому аккумулятор может работать и в горизонтальном положении. Пробка, которой закрывается коробка аккумулятора, водонепроницаема. При зарядке аккумлуятор должен находиться в вертикальном положении с открытой пробкой.

При формовке аккумулятора в результате взаимодействия окиси цинка с едким кали в электролите образуется цинкат калия (K_2ZnO_2), являющийся солью (не существующей в свободном состоянии) цинковой кислоты. Цинкат калия растворим в воде, а окись цинка в воде нерастворима.

Зарядка аккумулятора производится напряжением 2,1 *в*. Зарядка до 70 ÷ 80% номинальной емкости может быть произведена очень быстро (за 15 мин.). Но наибольший коэффициент отдачи получается при нормальном режиме заряда, длящемся 10 ÷ 20 час.

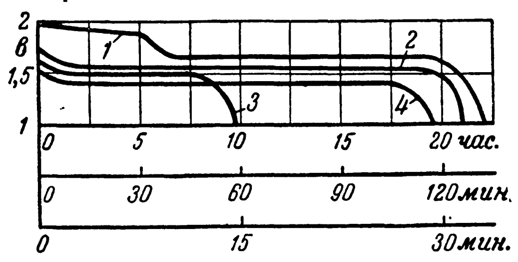
Реакция заряд-разряд выражается следующей формулой:

$$Ag + Zn(OH)_2 \rightleftarrows AgO + Zn + H_2O.$$

На фиг. 4 приведены разрядные характеристики серебряно-цинкового аккумулятора емкостью 0,75 *ач*. Несколько повышенное напряжение в начале разряда объясняется присутствием перекиси серебра. Как только эта перекись це-

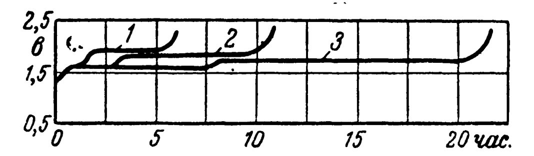
рейдет в окись, напряжение станет постоянным и не изменяется до конца разряда. При напряжении 1,5 *в* происходит процесс перехода окиси серебра в чистое серебро.

Образование перекиси серебра во время зарядки аккумулятора сопровождается повышением напряжения на



Фиг. 4. Разрядные характеристики серебряно-цинкового аккумулятора.

1 — при 20-часовом разряде (ток 2,5 *ма*); *2* — при 120-минутном разряде (ток 250 *ма*); *3* — при 60-минутном разряде (ток 500 *ма*); *4* — при 30-минутном разряде (ток 1 *а*).



Фиг. 5. Зарядные характеристики серебряно-цинкового аккумулятора.

1 — при 5-часовом заряде; *2* — при 10-часовом заряде; *3* — при 20-часовом заряде.

аккумуляторе, как это видно из зарядных характеристик на фиг. 5.

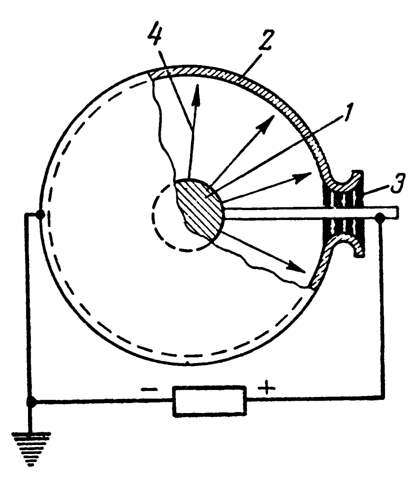
Главный недостаток этих новых аккумуляторов — относительно высокая стоимость их.

3. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БАТАРЕИ

Наряду с созданием промышленных атомных электрических станций, в которых электрическая энергия получается не за счет сжигания угля или других видов топлива, а за счет использования тепловой энергии, выделяющейся при делении ядер урана, в последнее время разработаны методы прямого преобразования атомной энергии в электрическую без промежуточного преобразования ее в тепловую.

Такие приборы, получившие название атомных батарей, хотя и не имеют еще промышленного значения, несомненно представляют значительный интерес в качестве источников питания для радиоаппаратуры.

Разработаны лабораторные. образцы высоковольтных и низковольтных элементов малой мощности, отличающиеся как по своей конструкции, так и по принципу действия.



Фиг. 6. Принципиальная схема устройства высоковольтной атомной батареи.

1 — внутренний электрод с радиоактивным веществом; *2* — внешний электрод; *3* — изолятор; *4* — путь электронов.

Принцип действия. высоковольтного элемента основан на том, что многие радиоактивные вещества в процессе распада испускают быстро летящие частицы — электроны. Они обладают большой энергией и способны пролететь в воздухе значительный путь и зарядить металлический электрод, находящийся на некотором расстоянии от радиоактивного вещества.

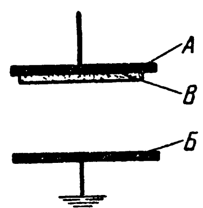
В простейшем случае такой атомный элемент может иметь вид шарового конденсатора (фиг. 6).

Если нанести радиоактивное вещество на поверхность металлического электрода *1*, расположенного внутри шара (одна из обкладок шарового конденсатора), то электроны, вылетающие из радиоактивного вещества в процессе распада, попадают на внутреннюю поверхность внешнего электрода *2* (вторая обкладка конденсатора) и заряжают этот электрод отрицательно, а внутренний электрод в то же время заряжается положительно. Максимальное напряжение, до которого можно зарядить такой конденсатор, зависит от энергии электронов и качества изоляции между электродами и может достигать нескольких десятков тысяч вольт.

Максимальный ток, который может дать такой элемент, зависит от скорости распада использованного радиоактивного вещества, т. е. от числа атомов вещества, распадающихся в течение 1 сек. Для каждого радиоактивного вещества скорость распада является величиной постоянной и

определяется так называемым периодом полураспада — временем, в течение которого распадается половина взятого первоначально вещества. Время полураспада для разных радиоактивных веществ весьма различно (от долей секунды до десятков миллиардов лет). Чем больше период полураспада, тем дольше может быть срок службы атомного элемента, но тем меньше число атомов распадается в единицу времени и, следовательно, тем меньше будет максимальный ток такого элемента.

Принцип действия высоковольтного радиоактивного источника напряжения удобно рассмотреть на примере конденсатора, у которого одна пластина (*А*) идеально изолирована, а вторая (*Б*) заземлена (фиг. 7).



Фиг. 7. Конденсатор с радиоактивным веществом.

А — изолированная пластина; *Б* — заземленная пластина; *В* — слой радиоактивного вещества.

Пусть на внутреннюю поверхность изолированной пластины нанесен слой радиоактивного вещества *В*. Заряженные частицы, испускаемые радиоактивным веществом, попадают на пластину *Б*; при этом каждая частица уносит с собой заряд e и увеличивает разность потенциалов между электродами *А* и *Б* на величину e/C, где C — емкость конденсатора.

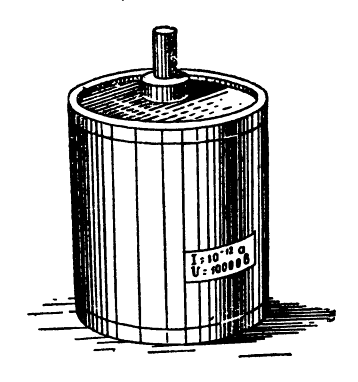
На пути от *А* к *Б* частица потеряет часть своей кинетической энергии, равную eV (где V — разность потенциалов между электродами), которая перейдет в энергию заряженного конденсатора. Когда энергия, с которой частица испускается радиактивным веществом, окажется меньше eV, частица уже не сможет долететь до пластины *Б* и вернется к пластине *А*.

Таким образом, по мере того как конденсатор будет заряжаться, все меньшее число частиц дойдет до *Б* и первоначальный ток заряда будет все время уменьшаться. Этот ток станет равным нулю, когда разность потенциалов конденсатора достигнет величины $U_{макс} = \frac{E_{макс}}{e}$, где $E_{макс}$ — максимальная энергия частиц. Например, для радиоактивного фосфора $E_{макс} = 1,7$ *Мэв* и максимальная разность потенциалов конденсатора равна 1,7 *Мв*.

Из-за наличия тока утечки изолятора у реального конденсатора практически достижимая разность потенциалов будет значительно меньшей.

Одна из лабораторных моделей высоковольтной атомной

батареи состоит из крупинки радиоактивного стронция (Sr^{90}) с активностью 10 милликюри [кюри — единица измерения ионизирующего излучения — служит также мерой количества радиоактивного вещества, которое испускает в 1 сек. столько же частиц, сколько 1 *г* радия (т. е. $3{,}7 \cdot 10^{10}$)], помещенный в цилиндрическую капсулу из специального высококачественного диэлектрика (полистирена) с диаметром 10, длиной 20 и толщиной стенок 0,8 *мм*. Одним электродом служит проводник, соединяющий крупинку стронция и выводной зажим, а другим — алюминиевая чашечка, окружающая капсулу и собирающая электроны, излученные стронцием. Элемент помещен в защитный толстостенный свинцовый цилиндр. Внешний вид лабораторного образца элемента показан на фиг. 8.

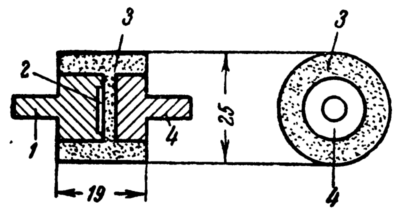


Фиг. 8. Внешний вид высоковольтной атомной батареи.

Период полураспада стронция равен 25 лет, и поэтому такая батарея может служить без перезарядки 20÷25 лет. За это время мощность элемента уменьшится вдвое, причем падение мощности происходит за счет уменьшения максимального тока, а напряжение остается неизменным.

При разомкнутой внешней цепи напряжение на зажимах элемента достигает 7 000 *в*. Максимальный ток, однако, не превышает 40 *мкмка* ($40 \cdot 10^{-12}$ *а*).

Конструкция другого высоковольтного элемента этого типа показана на фиг. 9. На торце массивного электрода *1* помещен препарат радиоактивного стронция *2*. Цилиндр *3*, являющийся корпусом прибора, служит изолятором между электродами *1* и *4* и выполнен из полистирена. Этот цилиндр снабжен внутри тонкой (0,5 *мм*) перегородкой из полистирена.



Фиг. 9. Высоковольтный радиоактивный элемент.

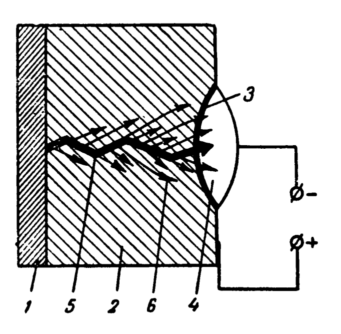
1 и *4* — электроды элемента; *2* — препарат радиоактивного стронция; *3* — корпус элемента.

При перегородке толщиной 0,5 *мм* и активности источника 25 милликюри начальный ток равен $1{,}1 \cdot 10^{-11}$ *а*. Пре-

дельное напряжение элемента с препаратом в 25 милликюри составляет 3 700, а с препаратом в 54 милликюри — 6 600 *в*.

Выпущены образцы на максимальное напряжение 10 000 *в* двух типов: с максимальным током 10^{-11} и $5 \cdot 10^{-11}$ *а*.

Основным недостатком этих элементов является малая мощность их, которая для препарата из стронция составляет всего $5 \cdot 10^{-3}$ *вт/кюри*. Таким образом, чтобы получить мощность 1 *вт*, потребуется около 200 кюри радиоактивного вещества. В настоящее время такой путь увеличения мощности нереален, так как радиоактивные материалы еще слишком дороги.



Фиг. 10. Принципиальная схема низковольтовой атомной батареи.

1 — радиоактивный слой стронция (Sr^{90}); *2* — полупроводник; *3*—слой типа *p-n*; *4*—коллектор; *5*—путь электрона, излучаемого стронцием; *6*—пути электронов, выбитых из полупроводника.

Атомный элемент нечувствителен к изменениям окружающей температуры и давления и не боится коротких замыканий.

Можно значительно повысить максимальный ток элемента и мощность его, если выбрать радиоактивное вещество с меньшим временем полураспада, но при этом одновременно уменьшится срок службы элемента: его придется часто перезаряжать. Так, если вместо радиоактивного стронция взять радиоактивный изотоп фосфора (P^{32}), то можно получить максимальный ток несколько десятых долей миллиампера (т. е. в 10^8 раз больше, чем у стронция). Зато срок службы такого элемента будет значительно меньше, чем стронциевого, так как период полураспада изотопа фосфора равен около 14 дней.

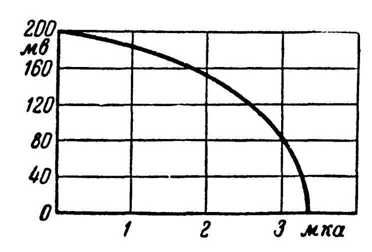
Такие элементы и батареи, составленные из них, могут найти применение в измерительной технике, где важно обеспечить высокое постоянство напряжения и независимость его от внешних условий окружающей среды.

Принцип действия низковольтных атомных батарей иллюстрируется фиг. 10. Радиоактивный стронций нанесен на одну сторону пластины из полупроводника (германия или кремния). На другой стороне пластины создан переходный слой типа *p-n*, обычный для полупроводниковых диодов. Быстрые электроны, вылетающие из радиоактивного стронция в процессе распада, проникают в слой полупро-

водника и высвобождают в среднем 200 000 медленных электронов, которые вследствие односторонней проводимости *p-n*-перехода собираются на коллекторе и могут быть отведены во внешнюю цепь. Такой элемент диаметром 10 и длиной 10 *мм* даст ток 5 *мка* при напряжении 0,2 *в*.

Отрицательно заряженный коллектор образует «минусовый», а полупроводник — «плюсовый» зажим элемента.

Лабораторный элемент позволял получать максимальную мощность 1 *мквт* и к. п. д. его составлял только 1%. Предполагается, что к. п. д. элемента удастся повысить до 10%. Срок службы, так же как и для высоковольтной батареи, можно полагать равным 20 ÷ 25 лет.



Фиг. 11. Нагрузочная характеристика низковольтной атомной батареи.

Чтобы получить источник питания, пригодный для практических целей, придется соединять такие элементы в группы последовательно и параллельно.

Опытный образец такой батареи был использован для питания звукового генератора на полупроводниковых триодах.

Кроме основного излучения (β-частицы), металлический стронций при наличии примесей излучает сильно проникающие, вредные γ-лучи, и при создании низковольтного атомного элемента приходится принимать специальные меры защиты полупроводника (германия или кремния) от опасности разрушения его.

Нагрузочная характеристика низковольтного атомного элементта приведена на фиг. 11.

В заключение следует упомянуть еще об одной попытке создать атомную батарею, так называемую атомную термобатарею, состоящую из капсулы, в которой смонтированы термопары, обогреваемые полонием.

Радиоактивный распад полония происходит с большим выделением тепла. Подогреватель из полония (мощностью 4,5 *вт*) нагревает группу спаев термобатареи до 230° С. Подогреватель и «горячие» спаи размещены в особой капсуле. Батарея состоит из 40 термоэлементов и обладает относительно малыми размерами и весом.

Максимальная мощность батареи с подогревателем из полония равна 0,0094 *вт*, т. е. к. п. д. ее равен всего около

0,2%; э. д. с. батареи равна примерно 0,75 *в*, а максимальный ток составляет около 25 *ма.*

Период полураспада полония равен 138 дней и, следовательно, батарею надо перезаряжать каждые 4 ÷ 5 **мес.**

К сожалению, опубликованные материалы еще недостаточны для суждения о технических характеристиках этих батарей. Несомненно, однако, что дальнейшее развитие атомной энергетики позволит создать не только крупные электростанции на ядерном горючем, но и различные типы маломощных, дешевых, малогабаритных и долговечных источников питания стационарной и передвижной радиоаппаратуры.

4. ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Под таким несколько неопределенным названием или даже еще более рекламным — «холодный огонь» — в последнее время появились сообщения о разработке еще одного нового источника электрической энергии.

Авторы разработок топливного элемента исходили из желания сократить путь преобразования химической энергии топлива в электрическую и повысить общий к. п. д. этого преобразования.

Как известно, в настоящее время для преобразования накопленной в топливе (угле, нефти, природном газе) солнечной энергии в электрическую надо сначала превратить химическую энергию топлива сжиганием в тепловую, затем тепловую — в механическую (парового двигателя, турбины) и, наконец, механическую (вращение ротора электрического генератора) — в электрическую. Этот длинный путь преобразования влечет за собой неизбежные потери, и поэтому общий к. п. д. современных мощных тепловых электростанций не превышает 30%.

Очевидно, если бы удалось сократить число преобразований энергии естественного топлива в электрическую, то можно было бы надеяться на увеличение общего к. п. д., что эквивалентно увеличению мировых запасов топлива, которые, как известно, не бесконечны.

Процесс сжигания угля, нефти или газа является процессом окисления. В процессе замещения, имеющем место в обычном гальваническом элементе, например простейшем медно-цинковом:

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2,$$
$$H_2 + CuSO_4 = H_2SO_4 + Cu,$$

цинк переводится в такое состояние, которое тоже можно рассматривать как окислительный процесс.

Если удалось бы каким-нибудь способом осуществить окисление угля или нефти, не сжигая их, а прямо превращая, как в гальваническом элементе, в электрическую энергию, то в результате такого сокращения этапов преобразования можно было бы ожидать повышения общего к. п. д. Созданный на этом принципе превращения химической энергии топлива в электрическую элемент и получил название «топливного» элемента.

Однако в процессе электрохимического окисления (например, в гальваническом элементе) предполагается, что «активный» материал, например цинк, должен быть предварительно приведен в ионное состояние. Это легко осуществить для металлов, но очень трудно для угля вследствие его химической инертности.

Пытались обойти это затруднение при помощи высоких температур. Так, например, был построен топливный элемент, состоявший из сосуда, наполненного окисью железа, в котором размещался пористый (глиняный) цилиндр, в котором в свою очередь находился уголь, смоченный раствором соли. В нижнюю часть цилиндра вводился кислород при температуре 500 ÷ 800° С. Отводы делались от сосуда, в котором находилась окись железа, и от угля. Этот элемент давал напряжение 1 *в*.

Пытаясь упростить конструкцию этого элемента, ряд авторов построил «непрямой топливный» элемент, в котором уголь сначала превращался в газ, а затем уже газ «окислялся» в топливном элементе. На этом принципе был построен элемент, названный «гремучим», который превращает химическую энергию взрыва гремучего газа (соединения кислорода с водородом при образовании воды) в электрическую. Такой элемент, созданный несколько лет назад, работал при температуре около 200° С. В последнее время его удалось усовершенствовать и заставить работать при температуре меньше 100° С. Этот элемент обладал к. п. д., равным примерно 70%, что следует считать весьма высоким показателем, если вспомнить, что лучшие тепловые станции имеют к. п. д. 30%.

Дальнейшее развитие этих работ предполагает использование в качестве топлива нефти, причем в процессе превращения ее в газ можно будет в виде отходов получать ряд ценных и полезных для промышленности химических продуктов.

Решение этой задачи не дает, как это имеет место для атомных электростанций, замену обычного топлива новым — ядерным горючим, но позволяет за счет лучшего использования косвенно увеличить запасы угля, нефти и газа более чем в 2 раза.

Авторы полагают, что сооружение и эксплуатация электростанций на принципе топливного элемента будут значительно проще и дешевле существующих методов.

5. СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ

Солнце — единственный источник энергии в солнечной системе. Энергия, излучаемая солнцем в виде тепла и света во все стороны пространства, исключительно велика и по подсчетам составляет $5{,}43 \cdot 10^{27}$ *кал/мин* (1 *кал*=4,182 *дж*= = 1/860 *втч*).

Земля получает ничтожную долю этой энергии — всего 0,5 *кал/мин* на каждый квадратный сантиметр верхней границы земной атмосферы, что составляет едва одну двухмиллиардную часть всей энергии, излучаемой солнцем. Часть этой энергии отражается облаками, поглощается в атмосфере и рассеивается обратно в мировое пространство (около 60%). И все же та малая доля, которая попадает на поверхность Земли, определяет всю жизнь на Земле, всю энергию, накопленную в недрах Земли, энергию воды и ветра.

Итак, с каждого квадратного метра земной поверхности для прямых солнечных лучей (на экваторе) можно снять около 140 *вт* мощности. Для средних широт эта величина снижается до $80 \div 90$ *вт/м²* и зависит от времен года и суток и состояния погоды.

Преобразование солнечной энергии в электрическую довольно сложно, причем оно вызывает громадные потери, поэтому естественно, что внимание ученых направлено на нахождение прямых или по крайней мере менее сложных путей этого преобразования и увеличения общего к. п. д.

Одним из известных сейчас методов использования солнечного тепла является сооружение солнечных тепловых установок, представляющих собой параболическое зеркало, в фокусе которого располагается, например, бак с водой. Под действием концентрированных при помощи зеркала солнечных лучей вода в баке нагревается, кипит и образует пар, который может быть дальше использован обычным способом для приведения в действие паровой машины или

турбины. С зеркалом 120 $м^2$ можно построить электрическую станцию мощностью до 75 *квт*, и на юге, где число солнечных дней в году велико, такая станция может снабжать электроэнергией небольшое предприятие или поселок почти круглый год. Общий к. п. д. такой установки может достигать 60%.

Хотя в солнечных тепловых энергетических установках и удается сократить число этапов преобразования, оно все же не является прямым. К числу прямых методов преобразования относится термоэлектрический. В этом случае можно, например, поместить в фокусе параболического зеркала вместо водяного бака термобатарею и при помощи нее непосредственно преобразовывать солнечную энергию в электрическую. К сожалению, найденные до сих пор сплавы позволяют пока создавать термопары и батареи, обладающие значительным внутренним сопротивлением, лучшие образцы которых дают к. п. д. не выше 7%. Батареи эти конструктивно сложны (большое число пар) и громоздки.

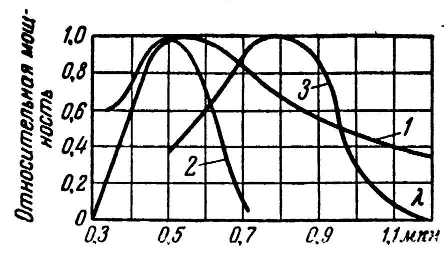
Значительно более просты по своему устройству фотоэлектрические элементы для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую. Благодаря простоте своей конструкции, малым габаритам и весу, а также надежности в эксплуатации эти батареи особо интересны для использования в качестве источника питания переносной малогабаритной радиоаппаратуры. Эксплуатируя такую батарею совместно с буферным аккумулятором, можно создать устройство, которое позволит вести работу и в часы, когда Солнце скрыто облаками, или даже ночью.

Простейшим представителем фотоэлектрических устройств для прямого превращения солнечной энергии в электрическую может служить вентильный фотоэлемент, использующий принцип вентильного фотоэффекта (например, селеновый). Лучшие образцы таких фотоэлементов имеют к. п. д. около 0,1%. Такой низкий к. п. д. и определил до сих пор главную область применения этих фотоэлементов — в измерительной технике (фотоэлектрические экспонометры, калориметры и пр.). Внутреннее сопротивление этих фотоэлементов составляет $10^3 \div 5 \cdot 10^4$ *ом*, а спектральная характеристика их такова, что максимум чувствительности приходится на $\lambda = 0{,}56$ *мкн* (фиг. 12).

Кремниевые фотоэлементы, получившие название «солнечных» элементов и батарей, были разработаны специально в качестве электрических преобразователей солнечной энер-

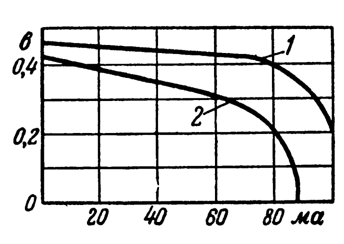
гии в 1953 г. Успехи теоретических и практических разработок в этой области прямым образом связаны с развитием науки о полупроводниках.

Кремниевый фотоэлемент для солнечной батареи представляет собой тонкую узкую пластину химически чистого кремния, в который добавлены в строго определенном количестве примеси некоторых других веществ. Пластина покрыта тончайшим слоем бора ($10^{-4} \div 10^{-5}$ *см*). Образующийся в месте контакта слой имеет одностороннюю проводимость (*p-n*-переход). При облучении такого элемента фотонами (солнечный свет, свет электрической лампы, рентгеновские лучи) переходом электронов в месте контакта может быть получен ток во внешней цепи фотоэлемента.



Фиг. 12. Спектральные характеристики.

1 — распределение энергии в спектре Солнца; 2 — спектральная характеристика селенового фотоэлемента; 3 — спектральная характеристика кремниевого фотоэлемента.



Фиг. 13. Вольтамперные характеристики кремниевого фотоэлемента.

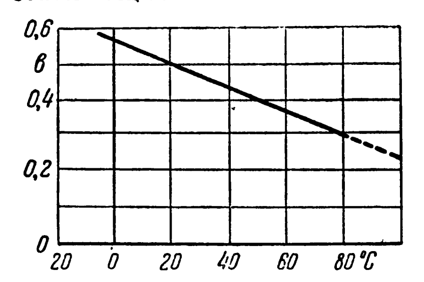
1 — идеального (без учета сопротивлений потерь); 2 — среднего из серийного производства.

Расчетами показано, что теоретический максимальный к. п. д. у идеального (без потерь) кремниевого фотоэлемента составляет 22%. Практически благодаря различным видам потерь (отражение солнечных лучей от поверхности фотоэлемента, наличие сопротивления в запирающем слое и контактах выводов) удается построить лабораторные образцы фотоэлементов и батарей с к. п. д. около 11%. Это очень высокий к. п. д., недостижимый пока другими методами прямого преобразования солнечной энергии в электрическую.

На фиг. 13 представлены вольтамперные характеристики идеального и практически построенного кремниевого фотоэлемента. Из-за низкого внутренного сопротивления максимальная мощность может быть получена только при низких сопротивлениях нагрузки. Для фотоэлемента, вольтамперная характеристика которого показана на фиг. 13, она

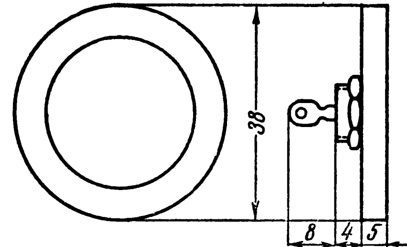
равна 20 *мвт*. Напряжение на зажимах фотоэлемента при этом составляет 60% напряжения холостого хода. Отдельные образцы с меньшим внутренним сопротивлением позволяют увеличить рабочее напряжение фотоэлемента до 75% напряжения холостого хода.

Для практических применений существенную роль играет температурная характеристика фотоэлемента, представляющая собой зависимость э. д. с. фотоэлемента от окружающей температуры (фиг. 14). Допустимыми считаются рабочие температуры до +80° С.



Фиг. 14. Зависимость э. д. с. кремниевого фотоэлемента от температуры.

Можно увеличить мощность фотоэлектрической установки применением зеркал и собирательных линз для концентрации солнечных лучей на рабочую поверхность фотоэлемента. При этом необходимо считаться с резким увеличением нагрева фотоэлемента и принимать меры для охлаждения его. Такой метод увеличения мощности не увеличивает к. п. д. элемента, а эквивалентен увеличению размеров воспринимающей площади фотоэлемента.



Фиг. 15. Внешний вид и размеры промышленного образца кремниевого фотоэлемента (тип S-1).

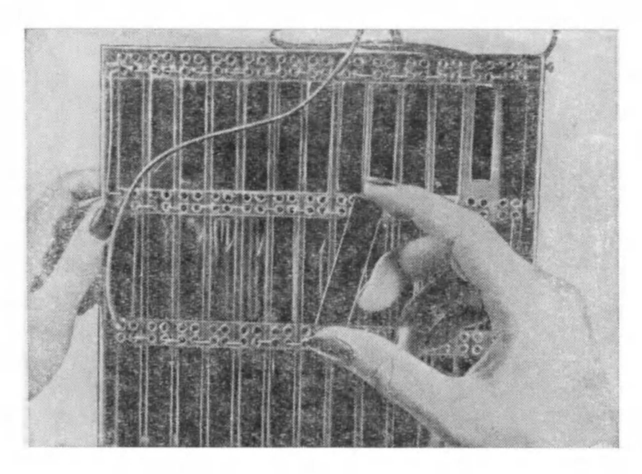
С 1 *см*² поверхности современных промышленных образцов кремниевого фотоэлемента можно получить ток 24 *ма* при напряжении 0,5 *в*, что соответствует общему к. п. д. 6%. Внешний вид и размеры первого промышленного образца такого фотоэлемента (США) показаны на фиг. 15.

Этот фотоэлемент при нагрузке на сопротивление 10 *ом* отдает мощность до 70 *мвт*.

Малые напряжение и мощность, даваемые элементом, не являются препятствием для практического использования его в радиоаппаратуре. Эти фотоэлементы можно легко соединять в последовательные и параллельные группы и со-

ставлять батареи на заданные напряжения и токи. Ограничения накладываются лишь размерами такой батареи и конструктивными соображениями.

На фиг. 16 приведен фотоснимок одной из экспериментальных солнечных батарей этого типа с внешними размерами примерно $17{,}5 \times 17{,}5$ *см*. В этой батарее 39 элементов размерами $50 \times 12{,}5 \times 1$ *мм*, соединенных в три параллельные группы (по 13 последовательно соединенных элементов).



Фиг. 16. Внешний вид солнечной батареи.

Общая полезная площадь батареи составляет примерно 150 *см*^{2}. Подсчет показывает, что такая батарея при напряжении около 4 *в* может отдавать ток до 0,1 *а* (при надлежащем выборе сопротивления нагрузки).

Другим типом солнечного элемента, разработанным одновременно с кремниевым, является новый фотоэлемент с запирающим слоем из сульфида кадмия (CdS).

Сульфид кадмия обладает высокими фотоэлектрическими свойствами. Фотоэлемент состоит из кристалла сульфида кадмия, в который вводятся некоторые примеси для образования *p-n*-перехода и запирающего слоя. На рабочие поверхности кристалла нанесены электроды: серебряный и индиевый.

Первые образцы этих элементов имели очень малую рабочую поверхность (всего 0,8 *см*^{2}). При освещении прямым солнечным светом их э. д. с. достигала 0,3 *в*. Авторы разработки утверждают, что э. д. с. фотоэлемента может быть

повышена до $2 \div 2{,}5$ *в*. Теоретический к. п. д. элемента определен в 18%.

Если эти сведения верны, то задача прямого преобразования солнечной энергии в электрическую становится реальной не только для создания маломощных источников питания переносной аппаратуры, но и для сооружения энергетических установок общего назначения. Так, можно подсчитать, что если покрыть крышу небольшого дома или вмонтировать в нее фотобатарею общей полезной площадью 50 $м^2$, то такая установка сможет обеспечить круглосуточную потребность жителей этого дома в электроэнергии для целей освещения, отопления и других бытовых нужд. Мощность такой установки оценивается (при рабочей площади 50 $м^2$ и к. п. д. 18%) в 12 *квт*.

Конечно, пока это еще только фантазия, так как при использовании солнечных батарей, даже для питания маломощной радиоаппаратуры, остаются нерешенными еще многие технические задачи. Такая батарея должна работать совместно с аккумулятором, который будет днем подзаряжаться, а вечером отдавать накопленную энергию для освещения и пр. Недостатком солнечной батареи следует считать непостоянство отдаваемого ею напряжения, которое сильно изменяется в зависимости от того, освещается ли она прямыми солнечными лучами или рассеянным светом.

Однако уже сейчас найден ряд полезных применений этих батарей, например: для питания усилителей телефонных ретрансляций в местах, не обеспеченных электроэнергией, радиоаппаратуры шаров-зондов, аварийных самолетных и судовых станций и др.

6. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Среди других методов прямого преобразования тепловой энергии в электрическую большое будущее принадлежит термоэлектрическим генераторам. В тепловых солнечных установках термоэлектрический генератор является основным элементом прямого превращения солнечной энергии в электрическую. По сравнению с солнечной батареей термоэлектрический генератор обладает важнейшими достоинствами: стабильностью даваемого им напряжения, которое может быть сравнено со стабильностью напряжения аккумуляторов, и независимостью от атмосферных условий. В то же время следует отметить, что термоэлектрические генераторы конструктивно сложнее солнечных батарей, бо-

лее громоздки и тяжелы. Кроме того, внутреннее сопротивление термоэлектрических батарей значительно выше, чем солнечных. Что касается общего к. п. д. преобразования, то практически достигнутые результаты ($6 \div 10\%$) являются весьма обнадеживающими.

Во всяком случае найденные конструктивные решения позволяют считать, что для обеспечения питанием переносной и передвижной радиоаппаратуры и даже стационарной аппаратуры в неэлектрифицированных районах современный термоэлектрический генератор является надежным и простым в эксплуатации источником электрической энергии.

Успехи, достигнутые в области теории термоэлектрических генераторов школой, руководимой акад. А. Ф. Иоффе и развитие наших знаний в области полупроводников позволили найти замечательные материалы для термопар с высокой термо-э. д. с. Этим в значительной мере устраняется главный недостаток термоэлектрогенераторов — необходимость последовательного соединения большого числа термопар, а следовательно, и вызываемое этим большое внутреннее сопротивление. В литературе имеются сведения, что найдены материалы, дающие термо-э. д. с. для одной пары до 700 *мкв* на 1° С.

Некоторое представление о достигнутых успехах в этой области и общей тенденции развития в создании новых термопар дает табл. 1.

В 1953 г. нашей промышленностью был освоен первый в мире термоэлектрогенератор на полупроводниковых материалах, известный под названием ТГК-3, непосредственно превращающий тепловую энергию 20-линейной керосиновой лампы в электрическую. Генератор состоит из двух низковольтовых батарей для питания накала и анода (через вибропреобразователь) батарейных приемников «Родина», «Искра» и др. При нормальном горении керосиновой лампы температура внутренних спаев доходит до 380° С, в то время как температура наружних не превышает $70 \div 80°$ С. Батарея накала может отдавать мощность до 1 *вт* (2 *в* $\times$ 0,5 *а*). Батарея анода (после вибропреобразователя) также обеспечивает мощность до 1 *вт* (120 *в* $\times$ 0,008 *а*). Расход керосина составляет $60 \div 70$ *г* за 1 час работы. Вес генератора равен примерно 3 *кг*.

Новая модель термоэлектрогенератора ТЭГК-2-2, выпущенная в 1956 г., предназначаемая для питания тех же приемников, тоже состоит из двух батарей, но в отличие от

Таблица 1

Свойства некоторых термопар

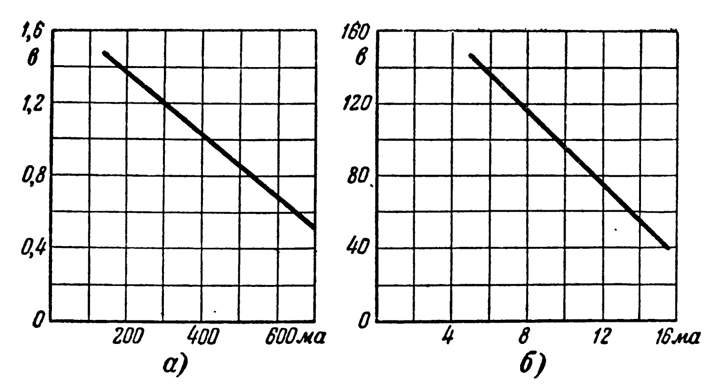
Материалы термопар	Удельное электрическое сопротивление, 10^{-6}·*ом/см*	Теплопроводность, *вт/°С см*	Термо-э. д. с., *мкв/°С*	К. п. д., % расчетный	К. п. д., % практический	Рабочий диапазон температур, °С
1. Константан 2. Хром	49 78	0,33 0,22	73	0,96	0,92	20÷500
1. Висмут 2. Сурьма	185 86	0,096 0,205	111	1,0	—	20÷260
1. 91% висмута+9% сурьмы 2. Сурьма	212 86	0,073 0,205	123	1,31	—	20÷260
1. 35% цинка+65% сурьмы 2. Константан	7 200 49	0,014 0,33	250	2,7	2,7	20÷420
1. 35% цинка + 65% сурьмы + немного олова или серебра 2. Константан	2 700 49	0,015 0,33	250	5,6	5,7	20÷420
1. 35% цинка + 65% сурьмы+немного олова или серебра 2. Сернистый свинец	2 700 13 000	0,015 0,015	390	10	7,0	20÷430

первой модели анодная батарея является высоковольтной, так что надобность в вибропреобразователе отпадает. Благодаря последнему обстоятельству значительно уменьшается уровень собственных шумов приемника. Так же как и первая модель, новая получает тепловую энергию от 20-линейной керосиновой лампы. Нагрузочные характеристики новой модели приведены на фиг. 17.

В 1955 г. во Франции выпущены были два типа термогенераторов оригинальной конструкции (фиг. 18) с газовой горелкой (для бутана). Небольшой баллон с бутаном (C_4H_{10}) весом 4 *кг* обеспечивает непрерывную работу генератора на полную мощность в течение 150 час.

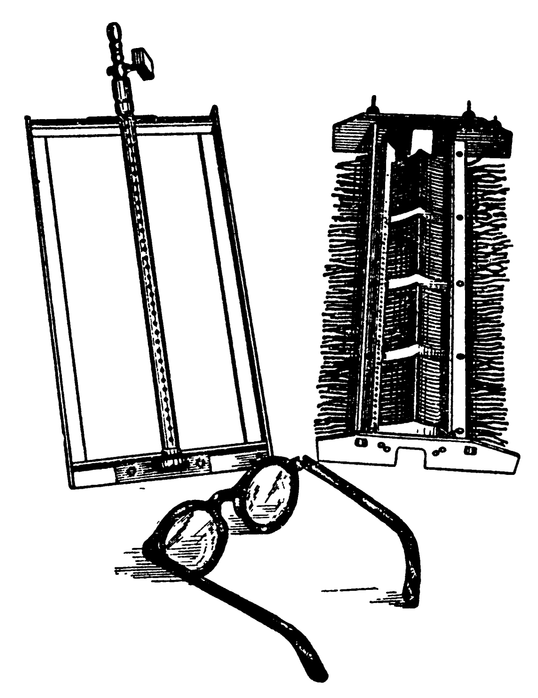
Термопары составлены из жаропрочных сплавов, состав которых не опубликован. В каждую термопару в качестве положительного электрода входит сплав ВТЕ (шифр), температура плавления которого равна 1 400° С.

Первый вариант термопары имеет отрицательный электрод из чистого никеля (шифр NTE). Во втором варианте



Фиг. 17. Нагрузочные характеристики термоэлектрогенератора ТЭГК-2-2.

а — батареи накала; *б* — батареи анода.



Фиг. 18. Термоэлектрический генератор с газовой горелкой.

применен сплав СТЕ с температурой плавления 1 300° С. Этот материал при температуре красного каления (900 ÷ 1 000° С) начинает окисляться, поэтому рабочая темпера-

тура для термоэлемента этого варианта не должна быть выше 700 ÷ 750° С. Третий вариант выполнен с электродом из сплава АТЕ, который по своим механическим и физическим свойствам подобен сплаву ВТЕ. Поэтому термопара ВТЕ—АТЕ может работать при наиболее высоких температурах, не окисляясь и не теряя своей механической прочности.

Термо-э. д. с. термопар, составленных из этих сплавов, довольно низка и колеблется в пределах 40 ÷ 70 *мкв* на 1° С (табл. 2).

Первый термогенератор состоит из двух батарей по 60 термопар. Каждая термопара изготовлена из полосок длиной 55, шириной 1,7 и толщиной 0,5 *мм*. Полоски разноименных материалов, составляющих термопару, сварены не в стык, а в накладку (на протяжении 12 *мм*) при помощи

Таблица 2

Термо-э. д. с. термоэлементов

Термопара	Температура, °С					
	100	300	500	700	900	1 000
	Э. д. с., *мв*					
ВТЕ—NTE	4,15	12,65	21,05	29,52	38,10	—
ВТЕ—СТЕ	6,05	20,46	35,65	51,97	—	—
ВТЕ—АТЕ	4,10	12,21	20,64	29,14	33,31	41,31

точечной электросварки. При рабочей температуре 400° С термоэлемент дает 0,03 *в*, при 200° С — около 0,02 *в*. Вес термоэлемента 1 *г*. Все 60 термоэлементов расположены плотно рядом друг с другом и соединены последовательно. Они смонтированы на алюминиевом уголке и изолированы асбестом. Нагрев батареи производится узким длинным (во всю длину батареи) языком пламени спиртовой или газовой горелки. После 2 мин. прогрева батарея дает 2 *в*. При токе 220 *ма* напряжение батареи падает до 1,7 *в*. Вторая батарея располагается над первой (на расстоянии 3 *мм*) и отдает половинную по сравнению с ней мощность.

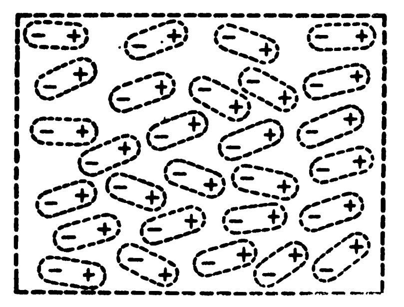
Второй термогенератор тоже состоит из двух отдельных батарей по 60 термопар и обогревается газовой горелкой (фиг. 18) с 36 отверстиями диаметром 1,5 *мм*. Максимальная температура нагрева получается при высоте пламени 1 *см* и нагревает спаи почти до белого каления. Высоту пламени, а следовательно, степень нагрева и э. д. с. батареи можно регулировать при помощи газового крана. Ма-

ксимальная э. д. с. батареи равна 4,8 *в*. При токе 220 *ма* напряжение на зажимах получается порядка 2,75 *в*. Максимальная мощность равна 0,6 *вт*. Вес обеих батарей (без подставки) — 150 *г*.

7. ЭЛЕКТРЕТЫ

Под электретами понимаются сравнительно недавно открытые и еще недостаточно изученные электроизолирующие материалы, обладающие постоянной электризацией и свойствами, аналогичными свойствам постоянных магнитов.

Предвестник электрета был открыт акад. Эпинусом еще в 1756 г., когда во время исследования пироэлектрических[1] явлений им было установлено, что переохлажденный кристалл турмалина обладает большим электрическим моментом. Много лет спустя, примерно в 1838 г., Фарадей на основании теоретических соображений ввел понятие о диэлектрических телах с постоянной остаточной поляризацией, которые позже получили название электретов.



Фиг. 19. Схематическое изображение постоянной ориентации молекул в электрете.

Некоторые диэлектрики, как, например, карнаубский воск, обладают следующим замечательным свойством: если их расплавить и оставить затвердевать в сильном постоянном электрическом поле, то поляризация их как бы «замораживается» и сохраняется в этом состоянии после снятия поля.

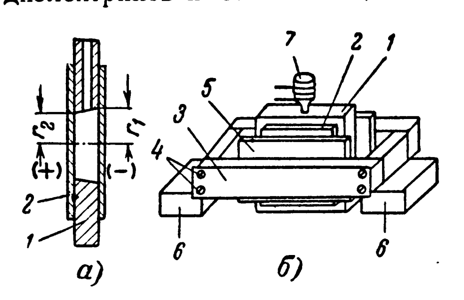
Когда вещество находится в жидком состоянии, молекулы его могут свободно ориентироваться, а когда оно затвердевает, всякое изменение ориентации затруднено и диэлектрик длительное время сохраняет заданную поляризацию (фиг. 19).

Впервые устойчивый электрет был изготовлен в 1922 г. японскими учеными Сато и Эгучи из смеси восков и смол, застывание расплава которых происходило в сильном

[1] Пироэлектрический эффект — создание поверхностных электрических зарядов при изменениях температуры в некоторых кристаллах.

постоянном электрическом поле. За 3 года наблюдений не удалось обнаружить заметного уменьшения электрических зарядов у этих образцов.

Между электретами и постоянными магнитами обнаружено много сходных свойств. Еще в 1933 г. акад. И. В. Курчатов экспериментально доказал, что при электризации диэлектриков имеет место циклический ход кривой электризации, аналогичный петле гистерезиса у магнитных материалов. Электрет можно разрезать по нейтральной линии между полюсами и получить два независимых друг от друга электрета. Можно удалить наружный слой материала, не нарушая свойств электрета. Так же как и постоянные магниты, электреты рекомендуется хранить с замкнутыми накоротко полюсами. При хранении их в разомкнутом состоянии наблюдается некоторое уменьшение заряда, которое может быть восстановлено закорачиванием электрета. Когда диэлектрик помещен в электрическое поле, молекулы своим положительным полюсом устанавливаются в направлении поля. Вещество, из которого изготовляют электрет, должно обладать большим удельным сопротивлением. Электрет можно разрушить, если поместить его в сильное переменное поле высокой частоты или расплавить.



Фиг. 20. Установка для изготовления электретов.

а — разрез пакета для загрузки диэлектрика; *б* — станок для электрической формовки электрета.

В первое время для изготовления электретов пользовались легкоплавкими диэлектриками: смолами, воском и их смесями. На фиг. 20 показана лабораторная установка для получения электретов. Квадратная пластина *1* размерами $95 \times 95 \times 10$ *мм* из высококачественного изоляционного материала имеет конусное отверстие в центре ($r_1 = 17$ *мм*; $r_2 = 15$ *мм*). Отверстие закрыто с двух сторон металлическими (латунными) электродами *2* размерами $70 \times 70 \times 2$ *мм*, к которым прикладывается потом постоянное напряжение. Подготовленный пакет закладывается в прямоугольную раму *3* и закрепляется винтами *4* в пластинах *5* рамы. Рама с пакетом устанавливается на бруски *6*. Измельченный порошок смеси диэлектри-

ков, из которых изготовляется электрет, загружается в холодном состоянии через воронку 7. Рама с пакетом помещается в термостат, где вещество расплавляется и протекает в конусное отверстие пластины 1. Чтобы избежать образование раковин во время охлаждения, воронку 7 подогревают надетой на нее электрической печью. Выход воздуха происходит через параллельное отверстие со вставленной в него стеклянной трубкой. После того как вещество расплавилось, нагрев термостата прекращают и на электроды подают постоянное высокое напряжение (11 *кв*). Процесс формовки длится до полного остывания раствора (60 ÷ 80 мин).

В последние годы начали изготовлять электреты из расплавленной серы и некоторых сортов стекла с целью получения большей механической прочности. Отмечается также, что свойствами электретов обладают некоторые виды конденсаторной керамики с большой диэлектрической проницаемостью, например метатитанат бария.

Имеются сведения о возможности получения электретов в электрическом поле при нормальной температуре, но при облучении образцов сильным светом. Такие электреты получили название «фотоэлектретов».

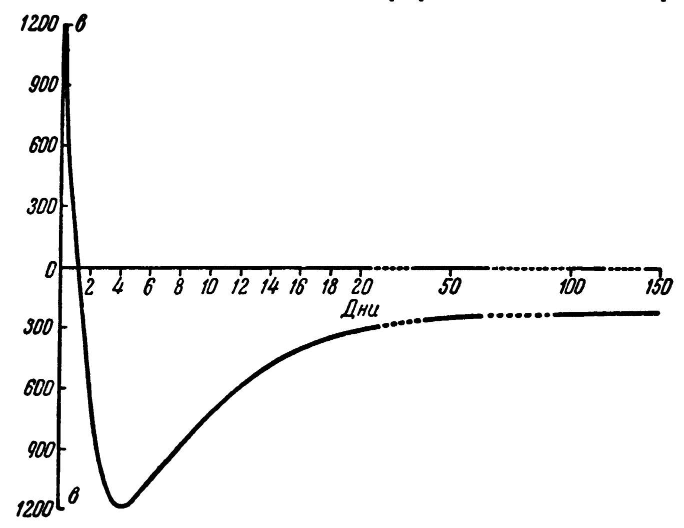
При изготовлении электретов в некоторых случаях наблюдается интересное явление. После электризации поверхность электрета, которая была обращена к аноду, обладала отрицательным зарядом, а противоположная — положительным. Со временем первоначальные заряды уменьшались и за несколько дней переходили в заряды противоположных знаков. Эти вторичные заряды оставались в дальнейшем длительное время постоянными (фиг. 21).

Электреты еще не вышли из стен лабораторий, однако уже наметились некоторые практические области применения их. В первую очередь они были использованы в измерительной технике: в электрометре и струнном гальванометре. В этих приборах электрет в виде пластинки или цилиндра подвешивался между двумя металлическими электродами, к которым подводились измеряемые заряды. При взаимодействии заряженных электродов и электрета последний отклонялся от своего нулевого положения.

В период второй мировой войны в Японии в военной аппаратуре связи применялись конденсаторные микрофоны без источников постоянного напряжения. В этих микрофонах мембрана располагалась над поверхностью плоского электрета. Такой электретный микрофон является обрати-

мым прибором и может быть использован как телефон или громкоговоритель. Электреты, изготовленные из подходящих материалов, могут применяться в качестве источников смещения для ламп или для фокусировки электронного луча, т. е. во всех тех случаях, где требуется создание электрического поля без расхода мощности.

Предполагается, что когда будут найдены материалы



Фиг. 21. Процесс перезаряда электрета.

с высокой электрической прочностью и нагревостойкостью, электреты смогут найти применение и в энергетике для устройства безобмоточных электрических генераторов индукционного типа высокого напряжения и других устройств.

8. ОСОБЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ РАДИОАППАРАТУРЫ

Расширяющееся развитие техники полупроводниковых приборов (триодов, диодов, фотоэлементов и др.) позволяет по-новому подойти к конструированию различной радиоаппаратуры. Малые габариты и вес полупроводниковых приборов вызвали потребность в малогабаритных радиодеталях, которая успешно разрешается. Новые компактные и легкие радиоприборы на полупроводниковых приборах требуют и нового подхода для обеспечения их источниками питания. Особенно остро эта проблема стоит перед конструкторами переносной и передвижной радиоаппаратуры.

Применение в радиоаппаратуре полупроводниковых приборов, потребляющих малую мощность, позволяет в ряде случаев использовать для питания ее такие источники электрической энергии, которые оказываются совершенно непригодными для аппаратуры, собранной на самых экономичных лампах.

Прямое использование солнечной энергии при помощи полупроводниковых фотоэлементов или термоэлектрогенераторов является одним из таких источников. Следует, пожалуй, только добавить, что так как требование в отношении общего к. п. д. преобразования при использовании этих источников энергии для питания переносной радиоаппаратуры (в частности, измерительной) не является главным и им можно в известной мере поступиться, пригодны не только кремниевые или кадмиевые фотоэлементы, но и ряд других, как, например, селеновые.

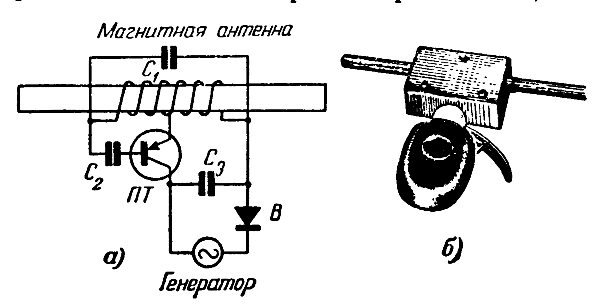
Другим источником энергии могут служить маломощные электрические генераторы, как, например, генератор карманного фонаря, или велосипедная «динамка». Генератор ручного карманного фонаря может отдавать мощность 0,15 ÷ 0,25 *вт* при напряжении 2,5 *в*. Этой мощности достаточно для питания небольшого радиопередатчика для связи на малых расстояниях.

В качестве третьего источника электрической энергии может служить энергия звуковых волн. Так, электродинамический микрофон может явиться не только устройством для модуляции высокочастотного генератора, но и источником энергии для питания этого генератора, давая мощность около 0,25 *мквт*. Наконец, вблизи мощных радиостанций можно получить достаточную высокочастотную энергию, преобразовав которую в постоянный электрический ток, получают источник энергии для питания радиоаппаратуры.

Ниже приводится несколько примеров практического решения проблемы питания маломощной радиоаппаратуры на полупроводниковых приборах, заимствованные из зарубежной практики.

На фиг. 22 представлены схема и внешний вид однокаскадного передатчика на плоскостном полупроводниковом триоде *ПТ*. В передатчике применена магнитная (ферритовая) антенна. Питание передатчика производится от генератора карманного фонаря. Выпрямление напряжения, даваемого этим генератором, осуществляется полупроводниковым диодом *В*, а сглаживание пульсаций конденсатором C_3. Конденсатор фильтра C_3 взят небольшой емкости с та-

ким расчетом, чтобы остаточный фон служил для модуляции высокочастотного генератора. Автор конструкции построил этот передатчик ($f = 250$ *кгц*) для дистанционного управления механизмом, открывающим ворота гаража. Исполнительная часть такого телеустройства приводится в действие сигналами, посылаемыми этим передатчиком и принимаемыми простейшим стационарным приемником, питаемым



Фиг. 22. Однокаскадный передатчик на полупроводниковом триоде с питанием от генератора карманного фонаря.

а — схема передатчика; *б*—внешний вид передатчика

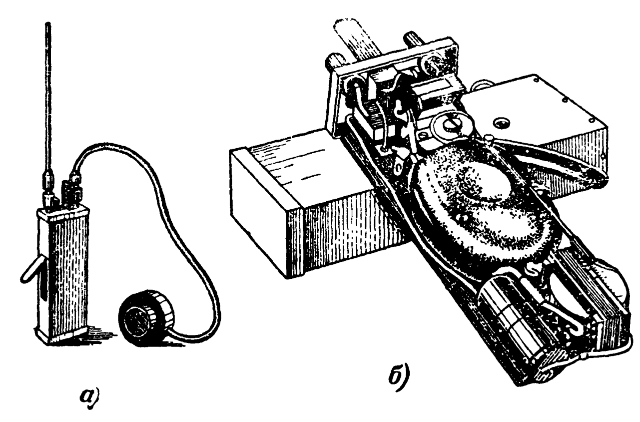
от сети. Этим «радиоключом» водитель мог, не выходя из своей автомашины, открывать ворота гаража, находясь на расстоянии нескольких десятков метров от него.

На фиг. 23 показаны внешний и внутренний виды коротковолнового радиотелефонного передатчика, работающего на частоте 4 *Мгц* с радиусом действия $1 \div 2$ *км* (на открытой местности). Передатчик с кварцевой стабилизацией работает на точечном полупроводниковом триоде. Питание обеспечивается от генератора карманного фонаря через полупроводниковый диод и хороший сглаживающий фильтр. Модуляция осуществляется маленьким микрофоном. Антенна — штыревая съемная. Передатчик всегда готов к работе. По своим размерам ($150 \times 60 \times 30$ *мм*) он действительно может быть назван «карманным».

Маломощный низкочастотный генератор можно питать от батареи из шести фотоэлементов, соединенных последовательно. Такая батарея будет иметь полезную рабочую поверхность 25 *см*^{2} и сможет отдавать около 40 *мквт* полезной мощности.

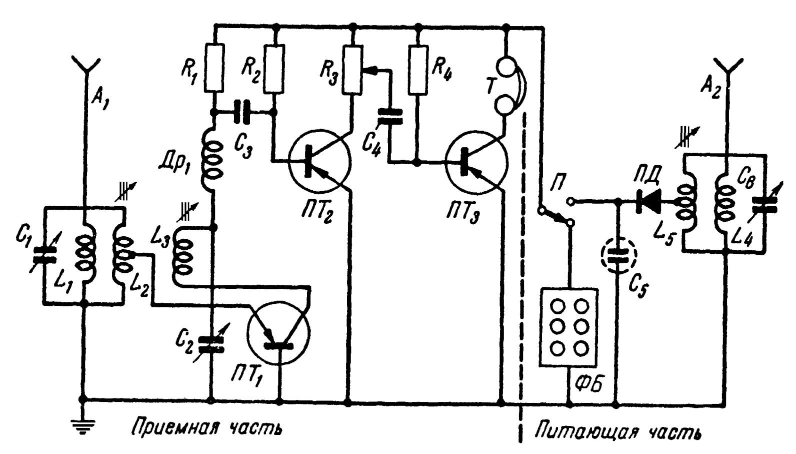
На фиг. 24 приведена схема радиоприемника прямого усиления на трех полупроводниковых триодах. Диапазон приемника $500 \div 1\,200$ *кгц*. В приемнике предусмотрены

два варианта питания: от батареи *ФБ* из шести фотоэлементов или энергией электромагнитного поля ближайшей радиостанции. При использовании второго варианта питания в приемнике применяется вспомогательная антенна A_2. Конденсатором C_6 производят настройку контура на ближайшую наиболее мощную радиостанцию. Принятое высокочастотное напряжение, выпрямленное диодом *ПД* и сглажен-



Фиг. 23. Коротковолновый радиотелефонный передатчик на полупроводниковом триоде с питанием от генератора карманного фонаря.

а — внешний вид передатчика; *б* — внутренний вид передатчика (со снятым футляром).

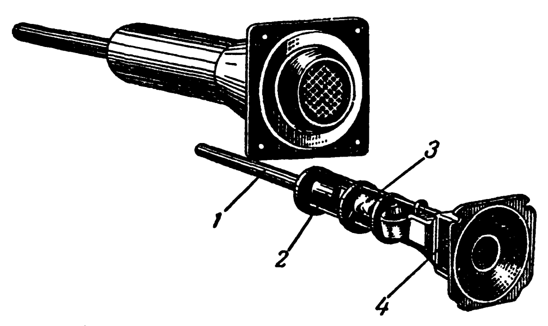


Фиг. 24. Схема приемника прямого усиления на полупроводниковых триодах с двумя вариантами питания.

ное конденсатором C_5, через переключатель *П* подается в приемник для питания полупроводниковых триодов.

Другой вариант этого же приемника по супергетеродинной схеме имеет только одну антенну как для приема нужной станции, так и для питания триодов.

Прием ведется на головной телефон и дает достаточную громкость.



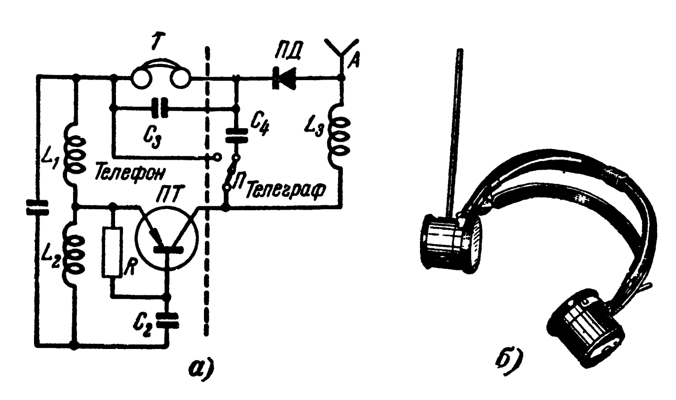
Фиг. 25. Внешний вид и устройство телефонного передатчика с питанием за счет энергии звуковых волн.

1 — ферритовая антенна; *2* — высокочастотный генератор; *3* — выпрямительный диод и сглаживающий конденсатор; *4* — электродинамический громкоговоритель.

На фиг. 25 показаны внешний вид и внутреннее устройство маломощного телефонного передатчика, собранного на полупроводниковых триодах, питание которых осуществляется энергией звуковых волн. Для этой цели часть напряжения, даваемого электродинамическим микрофоном и снимаемого с его звуковой катушки, выпрямляется диодом, сглаживается и подводится для питания триодов высокочастотного генератора. Часть напряжения, даваемого микрофоном, служит для модуляции. Из-за малой средней мощности питания и относительно низкого сопротивления излучения магнитной антенны дальность действия едва ли превышает нескольких десятков метров.

На фиг. 26 показаны схема и внешний вид устройства, предназначенного для контроля собственной работы радиолюбительского передатчика без перестройки своего приемника, подготовленного для связи с корреспондентом. Устройство смонтировано в корпусах головного телефона. К одному из корпусов прикреплена небольшая штыревая антенна *А*. Контроль работы передатчика можно осуществить как в телефонном, так и в телеграфном режимах.

Переход для контроля с телеграфной на телефонную передачу производится при помощи переключателя *П*, смонтированного в корпусе второго телефона. Генератор низкой частоты, входящий в состав устройства и собранный на триоде *ПТ*, питается энергией высокочастотных колебаний контролируемого передатчика. Поскольку громкость сигнала на выходе низкочастотного генератора зависит от питаю-

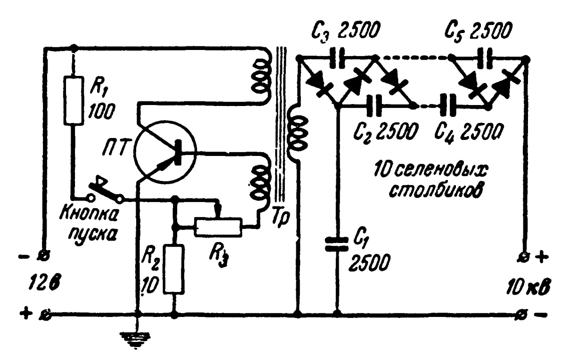


Фиг. 26. Устройство для контроля работы своего передатчика.
а — схема; *б* — внешний вид.

щего напряжения, т. е. от напряжения поля, по громкости сигнала можно при известном навыке судить и о мощности, излучаемой передатчиком. При переходе на телефонный режим устройство превращается в детекторный приемник с апериодическим контуром (чтобы не требовалась подстройка при смене волн передатчика).

В переносной аппаратуре, питающейся от батарей или аккумуляторов, высоковольтное напряжение обычно обеспечивается при помощи вибропреобразователя и повышающего трансформатора. При помощи полупроводникового триода и селеновых столбиков может быть создан экономичный и компактный источник высокого постоянного напряжения для питания приемника, электроннолучевых осциллографов, ламп вспышек, счетчиков заряженных частиц и пр.

В схеме фиг. 27 использован плоскостной полупроводниковый триод *ПТ*, работающий как релаксационный генератор (прерыватель). На зажимах вторичной обмотки трансформатора *Тр* создается переменное напряжение, которое выпрямляется и повышается (до 10 раз) выпрямителем-умножителем.



Фиг. 27. Схема компактного источника высокого напряжения.

Такие преобразователи построены на напряжения 30 ÷ 10 000 *в* при питании от батарей напряжением 1,2 ÷ 12 *в*.

Один из таких преобразователей при напряжении батареи 12 *в* развивал на выходе постоянное напряжение 10 *кв* при токе 100 *мка*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные в этой брошюре новые источники электрической энергии находятся на различных стадиях своего развития. Некоторые из них уже поступили в промышленное производство, для других не закончен еще этап лабораторной разработки.

Для устройств, предназначенных для получения сколько-нибудь значительной мощности, которые могли бы претендовать на использование в промышленности и быту, характерно стремление повысить их к. п. д. Полученные результаты, как это видно из сопоставления данных, приведенных в табл. 3, являются обнадеживающими.

Таблица 3

Коэффициенты полезного действия различных преобразователей энергии

Источник электрической энергии	К. п. д., %
Тепловая электростанция	20—30
Полупроводниковый термоэлектрогенератор	6—8
Селеновый фотоэлемент	0,1
Солнечная батарея	6—11
Топливный элемент	70
Свинцовый аккумулятор	80—90
Щелочный аккумулятор	50—60

В радиотехнической практике, в частности для питания переносных и передвижных устройств, особое значение приобретают разработки простых малогабаритных и надежных в эксплуатации источников питания, хотя бы общий к. п. д. их и не был так высок, как у других известных источников питания. Новые аккумуляторы, солнечная батарея и полупроводниковые термоэлектрогенераторы имеют значительные перспективы использования их в такой аппаратуре.

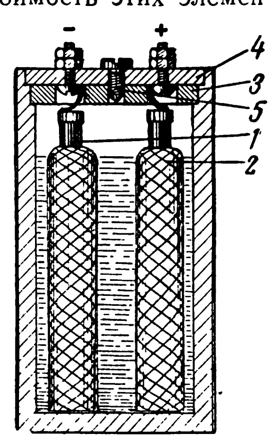
В то же время продолжается непрерывное совершенствование существующих переносных источников питания. Так, например, недавно в нашей печати («Промышленно-экономическая газета» № 60, 17/VI 1956 г.) появилось сообщение о разработке нового железоугольного элемента. Этот элемент создает электрическую энергию за счет реакции окисления железа кислородом воздуха.

Один из типов таких элементов (ВДЖ-400) собран в стальном сосуде диаметром 221 и высотой 75 *мм*. Его вес 5 *кг*. Начальное напряжение элемента 0,75 *в*, конечное — 0,45 *в*. Элемент допускает длительное хранение и может работать при температурах выше нуля.

Главным достоинством элементов этого типа является отсутствие в них цветных металлов. Кроме того, эти элементы обладают в 2 раза большей удельной энергией, чем медноокисные. Предполагается, что стоимость этих элементов при массовом производстве будет значительно ниже других типов.

Большой интерес представляет разработанный в 1952—1955 гг. А. Г. Пресняковым так называемый «газовый аккумулятор», который сулит народному хозяйству значительную экономию цветных металлов и других дорогостоящих материалов.

На фиг. 28 приведено устройство простейшего типа такого газового аккумулятора. Он состоит из стеклянного, пластмассового или керамического сосуда, в котором размещены два угольных электрода (стержни, применяемые в дуговых фонарях или гальванических элементах). Угольные стержни помещены в мешочки из хлопчатобумажной ткани. Мешочки набиваются порош-



Фиг. 28. Устройство самодельного газового аккумулятора.

1 и 2 — электроды; 3 — первая крышка из слоя пека; 4 — вторая крышка; 5 — пробка.

ком активированного угля, зашиваются и обвязываются плотно нитками. Активированный уголь можно взять из старых противогазов. При расходе 50—90 *г* активированного угля на оба стержня обеспечивается емкость аккумулятора в 1 *ач*. Толщина слоя порошка не должна превышать 15 *мм*. Электролитом служит раствор обычной поваренной соли (1—1,5 столовых ложки на стакан воды).

Рекомендуется окрасить сосуд темной краской, так как свет влияет на газы, образующиеся при зарядке аккумулятора, и разряжает аккумулятор.

После зарядки (при напряжении 4,5 *в*) одна банка аккумулятора дает напряжение 2,2 *в*. В процессе зарядки на отрицательном электроде собирается водород, а на положительном — хлор. Зарядку можно производить большими токами, что позволяет сильно сократить время зарядки. Газовый аккумулятор не боится короткого замыкания и допускает длительное хранение в незаряженном состоянии.

Саморазряд аккумулятора сильно зависит от окружающей температуры, поэтому заряженный аккумулятор рекомендуется хранить в прохладном месте.

Несомненно, что дальнейшие исследования позволят повысить удельную емкость аккумулятора и улучшить другие качественные показатели его.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 90 коп.